

VUV and Soft X-ray High-brilliance Light Source (Super SOR)

H.Takaki^{1,A)}, H.Sakai^{A)}, N.Nakamura^{A)},
Super SOR Accelerator Design Group

^{A)} Synchrotron Radiation Laboratory, The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, 227-8581

Abstract

The University of Tokyo has been promoting the Super SOR project to construct a new synchrotron radiation facility dedicated to sciences in VUV and Soft X-ray (SX) region. The new facility consists of a 1.8 GeV storage ring with 12 insertion devices and more than 20 beamlines applicable to advanced experiments using undulator radiation, a 1.8 GeV booster synchrotron and a 200 MeV linac. The conspicuous feature of the new light source is that the accelerators are designed to satisfy the “top-up operation” to overcome the short lifetime of the electron beam in a storage ring operated with the relatively low energy.

極紫外・軟X線高輝度光源 (SuperSOR)

1. はじめに

東京大学は、全国共同利用を目的とした第三世代の極紫外・軟X線領域高輝度光源 (Super SOR) の建設を柏キャンパスに計画している [1]。Super SORの光源加速器、ビームラインと分光光学系、放射光利用実験計画の具体的設計作業は、東北大学、KEK、東京大学、理研、分子研、SPring-8等の研究者による共同ワーキンググループによっておこなわれて来た [2]。

加速器の構成は図1に示すように、200MeVの線形加速器、200MeVから1.8GeVまで電子を加速しフルエネルギー入射が可能なブースター・シンクロトロン、1.8GeVの光源リングから成っている。高輝度の放射光源では、蓄積ビーム電流の変化に起因する放射光実験装置の熱負荷の変化が問題になるため、蓄積ビーム電流を一定に保つように常時入射を繰り返す“トップ・アップ”運転が重要な機能の一つとなる。それを踏まえて、加速器仕様策定ワーキンググループでの検討を元に、Super SORの光源加速器、ブースター・シンクロトロン、線形加速器の基本性能について報告する。

2. 光源リング

光源リングは、エネルギー1.8GeV、周長約280m、14個のChasman-Green型のセルからなり、17mの長直線部2本と6mの長直線部12本を持つ (表1参照) [3]。6mの長直線部2本は、入射部と高周波加速空洞を設置するのに使うため、挿入光源が設置可能な長直線部は12本である。図1に偏向電磁石及びアンジュレータからの放射光のスペクトルを示す。長さ15mアンジュレータ及び4.5mのアンジュレータを用いてそれぞれ 10^{19} photons/s/mm²/mrad²/0.1% b. w. を超える輝度の光を提供することができる。

6mの長直線部の両端には四極電磁石のトリプレッ

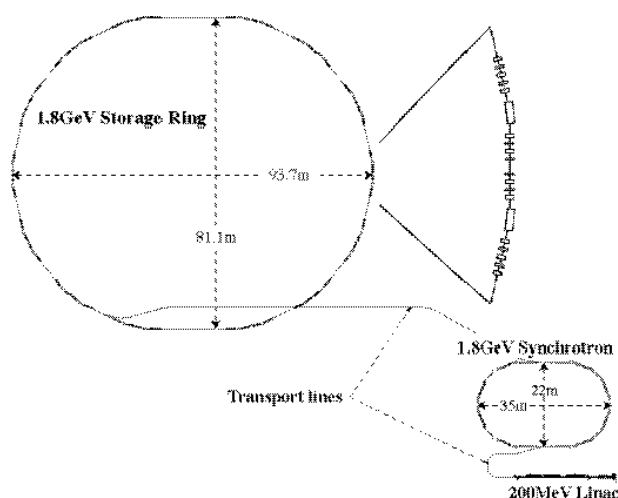


図1 : Super SOR全体図。

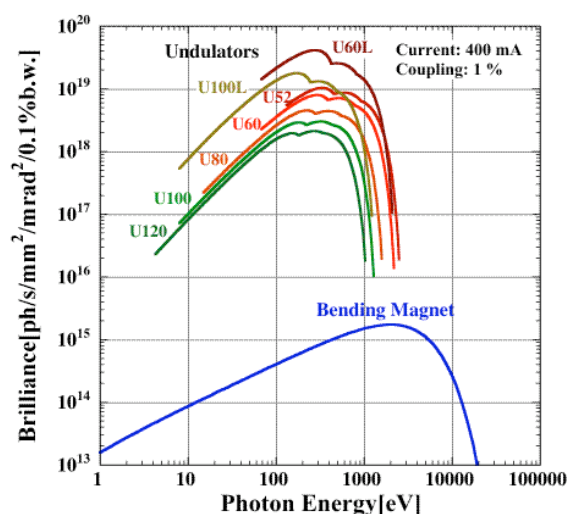


図2 : 光源リングから得られる放射光スペクトル。

¹ E-mail: takaki@issp.u-tokyo.ac.jp

表 1 : 光源リングの基本パラメータ

		High- β Mode	Hybrid Mode
Energy	[GeV]		1.8
Circumference	[m]		280.55
Emittance	[nm rad]	7.26	7.80
Energy Spread		6.68E-4	6.68E-4
Momentum Compaction Factor		1.00E-3	1.00E-3
Betatron Tune			
Horizontal		14.12	15.20
Vertical		5.18	5.86
Damping Time			
Horizontal	[msec]	19.32	19.32
Vertical	[msec]	19.4	19.4
Longitudinal	[msec]	9.72	9.72
RF Voltage	[MV]		1.4
RF Frequency	[Mhz]		500.1
Harmonic Number			468
Synchrotron Tune		0.00759	0.00759
Bunch Length	[mm]	3.94	3.94
RF Bucket Height		0.0293	0.0293

トをそれぞれ配置することで、長直線部におけるベータatron関数の自由度を上げている。同様に17mの長直線部の両側にはそれぞれ4台の四極電磁石を配置している。特に6m長直線については、中央部でのベータatron関数が $\beta_x=17.3\text{m}$, $\beta_y=4.3\text{m}$ のHigh- β セクションと、 $\beta_x=1.1\text{m}$, $\beta_y=2.6\text{m}$ のLow- β セクションを用意した。これは、隣接するアーク部および他の直線部への影響無しに、長直線部のベータatron関数を変化させることができるようになっている。図3(a)は、全ての長直線部をHigh- β セクションにしたHigh- β Modeのオプティクスで、六極電磁石に対する位相の進み方の対称性が良いため、広いダイナミックアパーチャの確保が期待できる。図3(b)はリング半周で5本ある6m長直線部のうち2本をLow- β セクションにしたHybrid Modeのオプティクスである。Low- β セクションは、磁極ギャップの小さい挿入光源をインストールしたり、高周波加速空洞を配置しそのバンチ結合型不安定性を押さえたりするのに使用できる。また、Low- β セクションは任意の6mの直線部で可能であり、全ての長直線部をLow- β セクションにする事も可能である。

トップ・アップ運転を行う上でビームの振動源となりうる入射部は非常に重要である。Super SORでは、バンパキッカー4台と入射セプタムを6mの長直線内に全て配置することで、非線形磁場を発生するコンポーネントを入射バンパ軌道内から排除している。これによって、入射バンパをその大きさに関係なく閉じることができ、トップ・アップ運転時のビーム振動は入射ビームのコヒーレント振動だけになる。

ビーム寿命が短いとトップ・アップ運転のデューティが増え電力や放射線の問題も発生するため、トップ・アップ運転においてもある程度のビーム寿命を確保することは重要である。Super SORではダイナミック・アパーチャを水平垂直共に20mm以上

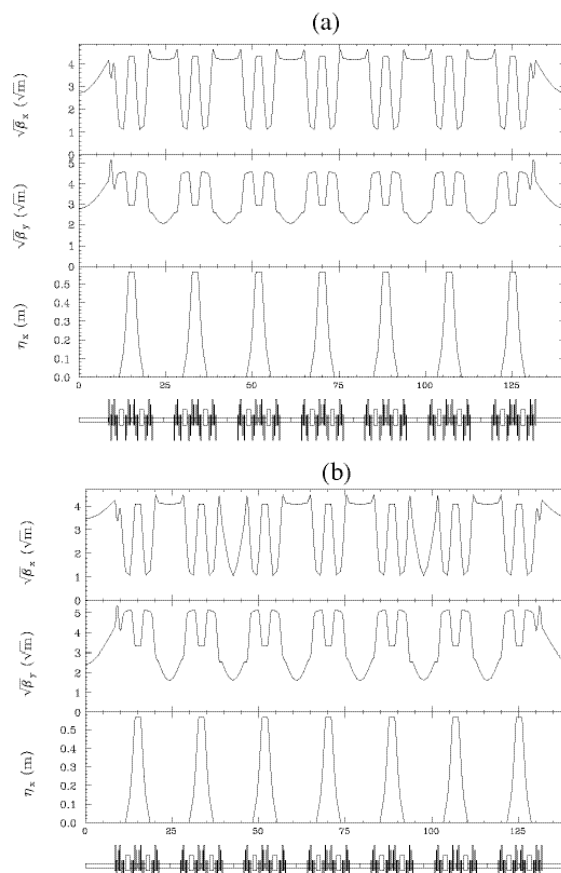


図3 : 光源リング半周のオプティクス。(a)はHigh- β Mode、(b)はHybrid Mode。

を確保し、光源リング内の真空度を0.5nTorrにすることで、ビーム電流400mAの時に10時間の寿命を確保している。

3. ブースター・シンクロトロン

ブースター・シンクロトロンの周長は93.5mであり、リングのちょうど3分の1である。線形加速器から200MeVで入射した電子を1.8GeVまで1Hzの繰り

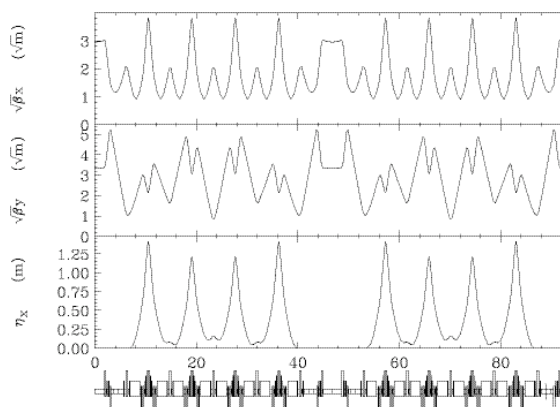


図4 : ブースターシンクロトロンのオプティクス。

表2：ブースター・シンクロトロンの基本パラメータ

Parameters	Extraction	Injection
Energy	1.8GeV	0.2GeV
Circumference	93.5m	
Lattice	Modified FODO	
Harmonic #	156	
emittance	52.1 nm rad	-
Energy spread	7.06×10^{-4}	-
Bunch length	13.7mm	-
Betatron tune	7.35/3.30 (x/y)	
Momentum compaction	0.0108	0.0108
Damping time (x/y/z)	5.7/5.8/2.9 ms	4.2/4.2/2.1 s
Bending field	1.25T	0.139T
RF frequency	500.1 MHz	
Bucket height	0.0070	0.030

返しで加速する（表2参照）。基本セル構造は、短い周長でエミッタンスを低く出来るModified FODOラティスを採用し、図4に示すように分散関数とそのぶん大きくなる傾向がある。

さらに、このラティスの特徴として、モーメントム・コンパクションを非常に小さく出来る（ ~ 0.003 ）オプティクスをオプションとして持つため、仮にトップ・アップ入射時に光源リングのシンクロトロン振動が問題になる場合でも対処できるようになっている[4]。

4. 線形加速器

線形加速器の基本構成を図5に示す。6本の2m加速管と2本の50MWのクライストロン及びスレッドを使って200MeVまで電子を加速する。運転モードはパルス幅10ps、ピーク電流80Aのショートパルスモードと10-100ns、400mAのセミロングパルスモードの2種類がある。ショートパルスモードでは476MHzのサブハーモニックバンチャーを使用する（表3参照）[4]。ショートパルスモードはシングルバンチ入射に、ロングパルスモードはマルチバンチ入射に使用する。

トップ・アップ運転はショートパルス、ロングパルス両モードでおこなう。ただし、光源リング内の

表3：線形加速器の基本パラメータ

Beam Energy	200MeV	
RF frequency	2856MHz	
Repetition rate	50Hz (Max)	
Normalized emittance	< 50 nm rad	
Operation mode	Short	Semi-long
Pulse length	10 ps	10-100ns
Peak current	80A	400mA
Energy spread (FWHM)	0.5%	0.5%

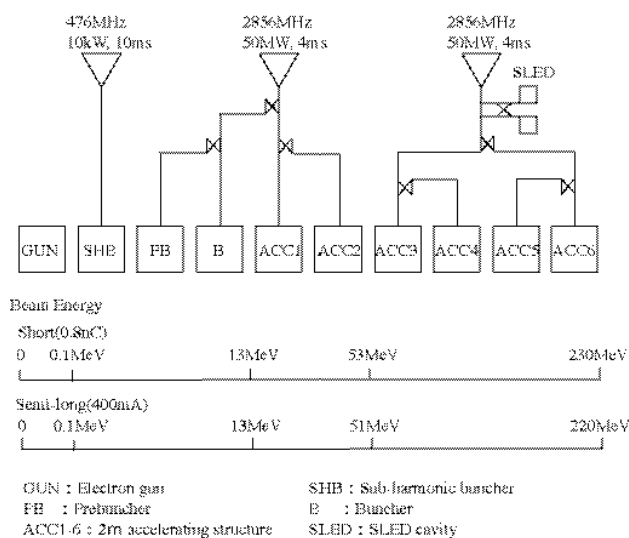


図5：線形加速器の構成図。

バンチ毎の電荷量の均一性を保つために通常の入射時と比べて線形加速器のピークビーム電流1/20程度に落とす必要がある。そのため、電子銃直後に開口径が可変のスリットを置いてビーム電流量を調整できるようにしている。

マルチバンチ運転においてはセミロングパルスモードを使う事が有効であるが、光源リング及びブースター・シンクロトロンの高周波加速空洞が500MHzで運転されるのに対して、線形加速器は2856MHzで簡単な整数比にならない。これら二つの周波数は約6MHzのマスターオシレーターを逡倍して作ることで同期をとってあるが、ブースター・シンクロトロンへの入射時にRFバケットに入らないバンチは必然的に発生するため、入射効率が落ちてしまう。そこで、3 GHzの線形加速器について現在検討を行っている。

4. まとめ

Super SORの光源リングは、長直線部のベータatron関数にフレキシビリティのあるラティス構造を持ち、多様な挿入光源に対して同時に最適な環境を提供できる。また、トップ・アップ運転に関しても、光源リング、ブースター・シンクロトロン、線形加速器ともに対応できるようになっている。

参考文献

- [1] A. Kakizaki, "A New Synchrotron Radiation Facility Project of the University of Tokyo", SRI2003, San Francisco, August 2003, p.25.
- [2] "極紫外線・軟X線光源計画デザインレポート" 平成14年9月。
- [3] H. Takaki et al., "Lattice Design of Super SOR", SRI2003, San Francisco, August 2003, p.105.
- [4] H. Sakai et al., "Design of an Injector for the Super SOR Ring", SRI2003, San Francisco, August 2003, p.69.